

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 16 日現在

機関番号：62603

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26870822

研究課題名(和文)南極氷床における涵養量の推定手法に関する研究

研究課題名(英文)A research for an estimation of the accumulation over Antarctica

## 研究代表者

鈴木 香寿恵 (SUZUKI, KAZUE)

統計数理研究所・大学共同利用機関等の部局等・研究員

研究者番号：20455190

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：2009年における南極昭和基地の有人観測による降雪記録に基づき、客観解析気象データによる気圧・比湿のデータ解析から、降雪時に特徴のある気圧パターンを抽出できた。しかしながら、降雪量の違いについては気圧や比湿の空間分布からは推定が難しく、この問題に対して、衛星観測による雲画像データから水蒸気量としてのパラメータとなりうるかを検討を行った。結果、南極内陸上まで侵入する擾乱システムに伴う雲の検出に成功し、28件中5件の特に降雪量の多かったブリザードイベント時に同様な雲が検出できた。今後はこのような降雪に影響の大きな雲を自動検出し、水蒸気量へ変換することで各イベントの重み付けを実施する予定である。

研究成果の概要(英文)：Based on the observed snowfall records at Syowa Station, Antarctica in 2009, an unusual atmospheric pressure pattern was detected from data analysis of atmospheric pressure, the specific humidity by the reanalysis data at the time of a snowfall. However, it was difficult to estimate the differences of the snowfall from atmospheric pressure and specific humidity spatial distributions. For this problem, it was considered to assume a parameter as the quantity of the moisture from cloud image data by the satellite observation. The detection of the cloud with the disturbance system that broke into the interior of Antarctica was succeed. Similar cloud pattern were found at the time of the blizzard events that there was five of 28 events with much snow in particular. I am going to carry out the weight of each event by converting it into quantity of moisture from this detected cloud patterns in the future.

研究分野：極域気候学、データ同化

キーワード：降雪 涵養量 衛星画像 南極

## 1. 研究開始当初の背景

近年、将来における地球規模気候変動を捉えるために、古気候変動を理解することが近道であると考えられている。古気候における気温変動の指標となる南極氷床コアの酸素同位体比には、掘削点の気温だけでなく、水蒸気源の海面温度や南極氷床上の輸送経路も影響するため、古気温の正確な推定にはそれらについての理解が必要である。南極氷床は海に囲まれており、氷床上は気温が著しく低いため、湿度が極めて低い。したがって、南極氷床の外部、主に海上から大気が輸送され、湿った空気が急激に冷やされて降雪となる過程が推定できる。しかし、現在気候においても、客観解析データを含めモデルによって推定される気象場の検証が難しい上、南極域の水蒸気量や降雪の再現性はあまり高くないことが分かっている (Suzuki et al. 2008, J. Geophys. Res.). さらに、現地での降雪量の観測が難しい。沿岸域ではブリザードの到来時に、地表面の積雪を吹き飛ばし、南極氷床の表層付近にはカタバ風と呼ばれる重力による外向きの強い風が常に吹いて、表面の雪を飛ばして運ぶ効果をもたらすため、リアルタイムの降雪量の観測は降雪と飛雪と分別することが難しい。

その上、内陸部ではダイヤモンドダストと呼ばれる水蒸気の昇華による局所的な降雪現象が一年中発生しており、外部からの水蒸気輸送と切り分けるのが難しい。Fujita and Abe (2003, Geophys. Res. Lett.) は越冬による降雪量の連続観測および降雪中の水の同位体比の分析を行い、1年の降雪のうち、半分は降雪イベントによるもの、残り半分はダイヤモンドダストなどによる再配分によるものだと発表した。同観測期間に記録された降雪イベントとされた日時の流跡線解析による大気の輸送経路や、気圧配置の分布から、日本の観測拠点のある東南極内陸部への降雪がもたらされるパターンが抽出されており (鈴木、博士論文、2007)、氷床上に高気圧が入り込む、特異的な状況に降雪が生じているのではないかと推測されている (Hirasawa et al., 2013)。

以上をまとめると、古気候変動を復元するにあたり、過去の涵養量をより正確に推定することが重要ではあるが、現在についても涵養に大きく寄与を持つ降雪量の測定自体が難しい状況である。数値モデルでの降雪量推定は可能だが、計算コストが高く、長期にわたる変動を捉えるには実用的でない。降雪量を観測データおよび背景となる気象要素から統計的に推定可能なモデルを構築し、過去にも適用することで、古気候における降雪量を低コストで推定することを目指す。

## 2. 研究の目的

現地観測データと客観解析気象データから空間統計学に基づいた積雪量推定モデルを開発し、氷床の涵養量を推定する。古気候モデリングによって再現された大気循環場に適用し、現在から過去の涵養量の推定を行うことで、氷床の涵養量の時空間変動を推定する。期待される成果としては、氷床コアの年代決定モデルで用いられている涵養量の推定を評価するものになり得るほか、南極氷床による将来の気候変動への寄与についても役立つと考えられる。

## 3. 研究の方法

すでに観測データから氷床内陸域や沿岸域における降雪事例について、流跡線解析による大気輸送経路の抽出は行われているが、水蒸気輸送をもたらす大気循環場の解析は不十分である。したがって、総観規模スケールの大気循環場について、空間統計や時空間解析を適用し氷床上における降雪量を推定できるモデルの開発を行う。得られた降雪量推定モデルによって、古気候を再現した古気候モデリングの出力による大気循環場を入力として、過去 5000 年ごとの氷床の涵養量変動の推定を行う。

(1) 現在大気循環場における南極氷床上における降雪量の推定

これまでの降雪に関する現地観測データ (気象観測、雪尺観測、AWS など) を集積し、客観解析気象データ (ERA-Interim, JRA-55 など) を用いて降雪時における大気循環場との関係について空間的な解析を行う。その上で、南極氷床上における空間回帰に基づく降雪量の推定モデルを開発し、1年当たりの涵養量の推定を行う。衛星観測による涵養量の空間分布を用いて最尤法に基づくパラメータ推定を行う。客観解析気象データ以外に気候モデルや領域モデルの出力結果が得られた場合は、すべて入力値として不確実性の推定も行う。

(2) 古気候モデリングによって再現された大気循環場による降雪量の推定

研究協力者である東京大学大気海洋研究所阿部彩子教授の下で、MIROC-AGCM による古気候を再現した気象データがすでに出力されている。このデータを用い、5000 年ごとのスナップショットについて大気循環場の特徴を調べ、a) で得られた降雪量推定モデルによって氷床の涵養量をタイムステップごとに推定する。同様な古気候モデルによる出力結果 (PMIP3 など) が得られた場合は、すべて入力値として与える。得られた涵養量と、氷床コアの年代決定する際に用いられている涵養量モデルを比較し、涵養量モデルの改良を行うための情報を得る。

#### 4. 研究成果

##### (1) 現在大気循環場における南極氷床における降雪量の推定

まず、南極昭和基地で観測された天気概況および南極地域観測隊の記録日誌による降雪事例のデータ収集、デジタル化を行った。特に2008年、2009年は東南極大陸上で多雪の観測報告が各国の基地からもあがっており、初動として2009年に絞った解析を行う方針とした。特に、風速および視程によって定義されるブリザードが観測された際は、降雪も同時に観測されていることから、単に降雪が観測された事例ではなく、ブリザードのイベント解析を行うこととした。

客観解析気象データを用いて、観測された降雪イベント時の様々な気象要素の空間パターンを検討した結果、特定の気圧配置と水蒸気の空間分布の抽出に成功した。得られた気圧配置と水蒸気パターンを各ブリザードについて比較したところ、主に二つのパターンに分類できた。

一つは、中緯度側から低気圧性擾乱が極方向へ移動してくることで、南極域に存在した擾乱が活発化し、極方向への移流が促進されるリッジが発達する場合である(図1)。このパターンは頻度が少なく、年間に3回/28回程度であった。昭和基地に設置されている積雪深データによると、イベント期間中の最大値として10cmから20cmの記録が残っており、涵養に対する寄与の大きさがうかがえる。もう一つは、低気圧性擾乱が二つ発生している状況下で、その間のリッジが発達し、南極外からの大気が極方向へ移流されることが促進されるパターンであった(図2)。どちらも構造的には擾乱に挟まれたリッジの発達によって、水蒸気が輸送されるパターンとなっているといえる。

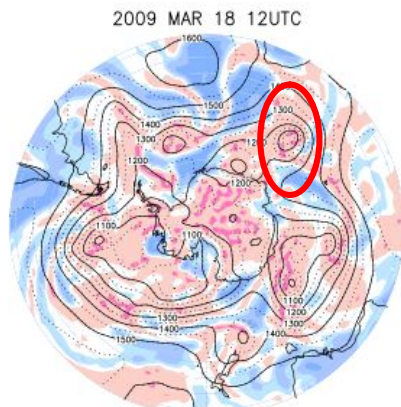


図1. 2009年5月18日における850hPaにおけるジオポテンシャルハイトと絶対湿度

しかしながら、積雪深データからイベント期間内の最大値と各イベントの気象要素の空間パターンを比較したところ、明確な関係

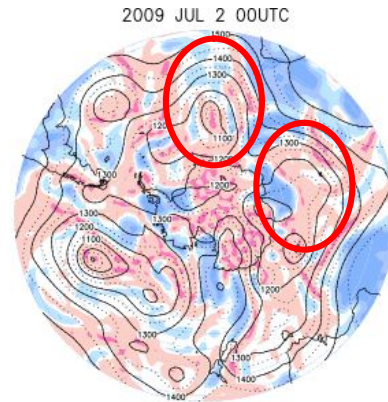


図2. 2009年7月2日における850hPaにおけるジオポテンシャルハイトと絶対湿度

性は見いだせなかった。そのため、当初予定していた年間涵養量から回帰モデルを用いてイベント毎の降雪量の重み付けをおこなうことが難しく、この問題を解決するために研究方針を変更せざるを得なくなった。

##### (2) 古気候モデリングによって再現された大気循環場による降雪量の推定

(1)で述べた通り、降雪量を重み付けで推定する手法に問題が生じたため、この研究予定の実施を取りやめ、(3)として新たな展開を行った。

##### (3) 衛星観測による雲画像による水蒸気量の推定

南極昭和基地では1997年からNOAA/AVHRRによる衛星観測データを継続して受信しており、輝度温度による雲画像データが蓄積されている。一般に、降水は対流とその対流によって形成された雲(水蒸気の塊)によって生じるため、この雲の大きさや厚みによって水蒸気量の推定が出来ないか検討を行った。(1)で取り扱った2009年のブリザード時における雲画像から、南極氷床表面と、海水エリアを取り除き、低気圧性擾乱の前面に発達した雲を抽出した結果が図3-2である。

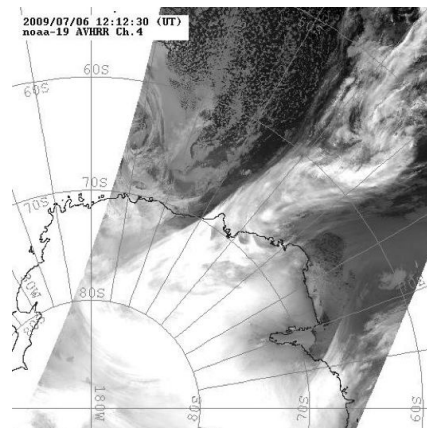


図3-1 2009年7月6日に昭和基地で受信したNOAA/AVHRR Ch.4(Hi-rasawa and Yamanouchi, 2000)

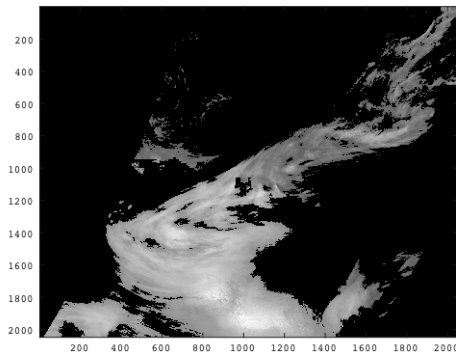


図3-2 図3-1のデータに対し閾値処理を各表面上(海・氷床・海氷)について実施し、雲のみを検出した結果(Suzuki et al., 2015)

このような特徴的な雲が、降雪量の多かったブリザードイベント5件(全28件中)ですべて検出され、降雪に関連のある雲パターンであると考えている。今後は、この検出された雲の面積から水蒸気量に換算する予定である。さらに機械学習を適用させこの雲パターンの自動検出を行い、観測データがなくとも同様な雲を検出し、年間涵養量からの重み付けを実施する予定である。客観解析気象データがもつ気象要素だけでは降水量の重み付けができなかった問題を解決する方針で研究を進める見込みである。

#### <引用文献>

Hirasawa, N. and Yamanouchi, T. (2000): NOAA AVHRR images received at Syowa Station, Antarctica in 1997. Data of Project on Atmospheric Circulation and Material Cycle in the Antarctic, Part 1. JARE Data Rep., 248 (Meteorol. 33), 216 pp., 2000.

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

##### [雑誌論文](計1件)

S. Nakano, K. Suzuki, K. Kawamura, F. Parrenin, and T. Higuchi, A sequential Bayesian approach for the estimation of the age-depth relationship of the Dome Fuji ice core, Nonlin. Processes Geophys., v. 23, pp. 31-44, doi:10.5194/npg-23-31-2016, 2016. 査読あり。

##### [学会発表](計6件)

Suzuki, K., Tokunaga, T., Hirasawa, N., Kadosaki, G. and Yamanouchi, T., An examination of the methodology for detection of the cloud patterns related to the precipitation in the Antarctic, The 6th Symposium on Polar Science, Tachikawa,

Japan, November 16 2015.

Kazue Suzuki, Hideaki Motoyama, Takashi Yamanouchi, Hiroyuki Enomoto, Takeshi Tamura, Yoshinori Iizuka, Tomoyuki Higuchi, A development of snowfall estimation model for Antarctica -part1-, The Fifth Symposium on Polar Science, Tachikawa, Japan, December 2 2014.

鈴木 香寿恵, 昭和基地周辺における降雪イベントの特徴, 第7回大気・雪氷・海洋間の物質循環と極域への物質輸送に関する研究小集会, 2015年9月28日, 国立極地研究所(東京都・立川市)

鈴木 香寿恵, 本山 秀明, 山内 恭, 平沢 尚彦, 田村 岳史, 榎本 浩之, 飯塚 芳徳, 的場 澄人, 樋口 知之, 南極氷床に適応した降雪量推定モデルの開発その2, 雪氷研究大会2015, 2015年9月15日, 信州大学(長野県・松本市)

鈴木 香寿恵, 流跡線解析によって風の流れをつかむ, データ同化における可視化に関するワークショップ, 2015年3月17日, 統計数理研究所(東京都・立川市)

鈴木 香寿恵, 本山 秀明, 山内 恭, 榎本 浩之, 田村 岳史, 飯塚 芳徳, 樋口 知之, 南極氷床に適応した降雪量推定モデルの開発 -降雪をもたらず大気循環場の特徴-, 2014年度雪氷研究大会, 2014年9月21日, 八戸工業大学(青森県・八戸市)

##### [その他](計1件)

##### ソフトウェア開発

「南極域における雲識別結果と気象データの可視化コンテンツ開発」

客観解析気象データによる気圧データ、衛星観測による海氷密接度および輝度温度から推定される雲画像を同時に表示できるシステムを開発した(図4)。これにより、擾乱と雲構造の関係性を容易に把握することが可能となった。

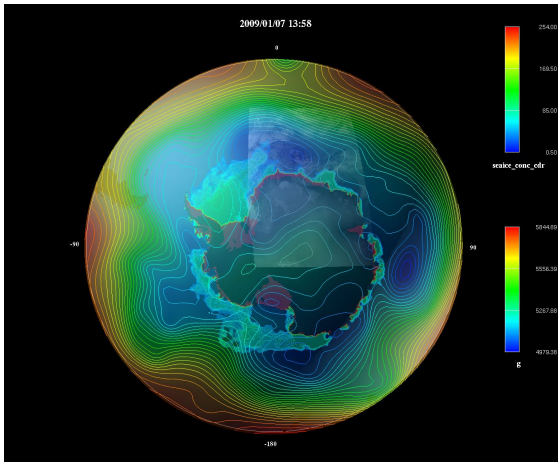


図 4 複数のデータを同時に表示できるシステムのスクリーンショット

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

鈴木 香寿恵 (SUZUKI, Kazue)

統計数理研究所・データ同化研究センター・特任研究員

研究者番号：20455190